

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-237172

(43)Date of publication of application : 19.09.1990

(51)Int.Cl.

H01L 31/04

(21)Application number : 01-058761

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 10.03.1989

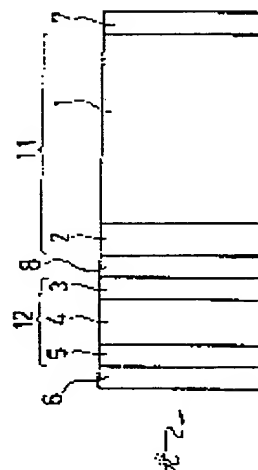
(72)Inventor : ISHIHARA TAKASHI  
SASAKI HAJIME  
AIGA MASAO

## (54) MULTILAYER STRUCTURE SOLAR CELL

## (57)Abstract:

PURPOSE: To improve photoelectric conversion effect by inserting a conductive selective reflecting film between first and second layers which are connected in series and by controlling a film thickness thereof to selectively reflect a short wavelength light which can be absorbed in the second layer and to make a long wavelength light which cannot be absorbed in the second layer and can be absorbed in the first layer pass through.

CONSTITUTION: A conductive selective reflecting film 8 is inserted between first and second layers which are connected in series, and a film thickness thereof is controlled to selectively reflect a short wavelength light which can be absorbed in the second layer and to make a long wavelength light which cannot be absorbed in the second layer and can be absorbed in the first layer pass through. Thereby, a current produced in the second layer 12 can be increased while a current produced in the first layer 11 is restrained to a minimum, and it is possible to make a current produced in each layer approach equilibrium state. According to this constitution, transducing efficiency of a multilayer structure solar cell can be improved better than the case when a selective reflecting film is not inserted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-237172

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>  
H 01 L 31/04

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)9月19日

7522-5F H 01 L 31/04

W

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全6頁)

⑮ 発明の名称 多層構造太陽電池

⑯ 特 願 平1-58761

⑰ 出 願 平1(1989)3月10日

⑱ 発 明 者 石 原 隆 兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会社光・マイクロ波デバイス研究所内  
⑱ 発 明 者 佐々木 肇 兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会社光・マイクロ波デバイス研究所内  
⑱ 発 明 者 相 賀 正 夫 兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会社光・マイクロ波デバイス研究所内  
⑲ 出 願 人 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
⑳ 代 理 人 弁理士 早瀬 憲一

明 細 書

1. 発明の名称

多層構造太陽電池

2. 特許請求の範囲

(1) 直列接続された第一層と第二層からなる多層構造太陽電池において、

上記第一層と第二層との間に、第二層で吸収できる短波長光を選択的に反射し、一方第二層では吸収できず第一層で吸収できる長波長光を透過させることができるように膜厚を制御した導電性の選択反射膜を備えたことを特徴とする多層構造太陽電池。

(2) 上記選択反射膜は誘電体であり、その所望部分は上記第一層と第二層を直列接続するために除去されていることを特徴とする請求項1記載の多層構造太陽電池。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

この発明は多層構造太陽電池の高効率化に関するものである。

〔従来の技術〕

第5図は例えば、テクニカル ダイジェスト オブ セカンド インターナショナル フォトヴォルティック サイエンス アンド エンジニアリング コンファランス (Technical Digest of 2nd International Photovoltaic Science and Engineering Conference) (PVSEC - II, 1986 北京) の395頁に示された従来の多層構造太陽電池を示す断面図であり、図において、1はp型ポリシリコン、2はn型アモルファスシリコン、3はp型アモルファスシリコン、4はi型アモルファスシリコン、5はn型微結晶化シリコン、6は透明導電膜、7は裏面A<sub>2</sub>電極であり、光は透明電極6側より入射する。11は第一の太陽電池、12は第二の太陽電池であり、これら2つの太陽電池は直列に接続されている。

次に動作について説明する。入射した光は透明導電膜6を通り、まず短波長光が第二の太陽電池12のi型のアモルファスシリコン4で光キャリアとなり、長波長光は第一の太陽電池11のp型

ポリシリコン1で光キャリアになる。これらの光キャリアがそれぞれの接合部へ流れることにより電流を発生する。第二の太陽電池12で吸収する光は、1型アモルファスシリコン4の厚みを厚くすれば増加させることは可能であるが、1型アモルファスシリコン4の膜質が不十分であるため、おのずとその膜厚は制限される。この為、第二の太陽電池12の光吸収層である1型アモルファスシリコン4の光学的バンドギャップより大きな光でも完全には吸収できず、下層の第一の太陽電池11へと透過し、第一層で発生電流に寄与する。  
〔発明が解決しようとする課題〕

第一層と第二層が直列接続されたこのような太陽電池では、外部電流は発生電流の少ないいずれかのセル電流で制限される。ところが、通常第二層に用いられるアモルファスシリコンのp i nセルでは、短絡電流は約15～17 mA/cd程度である。しかるに第一層の結晶シリコンセルの短絡電流は約36～40 mA/cdもあり、第二層で吸収されずに透過した光だけで約20～25 mA/cd

の短絡電流を発生する。このため外部電流は第二層の発生電流である15～17 mA/cd程度となり、直列セル発生電流のバランスが取れなくなり、光電変換効率の上昇を阻害するという問題点があった。この場合の変換効率は14～16%程度となる。

一方、特開昭59-96777号に記載されているように、透明膜を第一と第二の太陽電池間に、この膜による反射特性を考慮せずに挿入したのみでは、電流のバランスをとることはやはりできず、光電変換効率の向上は望めない。

また、特開昭60-35580号では、第一と第二の太陽電池の間に膜厚1000～1500 ÅのITO(インジウム・スズ酸化物)を挿入している。第6図はこの場合の反射特性を示し、同図から明らかなように、光入射側のセルにとっては都合よく反射光を利用できるが、下層セルにとってはITO膜を挿入することによって入射光量が極端に減少するという致命的な問題が発生する。

さらに、特開昭63-77167号に記載されているよ

うに、ITOの膜厚が100～2000 Åであっても光の有効利用を図ることは不可能である。特に、上記特開昭63-77167号の実施例に記載されているITOの膜厚600 Åでは、第7図に示すごとくその反射特性はブロードとなり、下層セルの長波長側の感度も同時に大きく低下することになり、光の有効利用は不可能である。

この発明は上記のような従来のものの問題点を解消するためになされたもので、選択反射膜の膜厚を最適に制御することによって、各々の層で発生する電流のバランスをとり、光電変換効率を向上させることができる多層構造太陽電池を得ることを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

この発明に係る多層構造太陽電池は、直列接続されている第一層と第二層の間に、第二層で吸収できる短波長光を選択的に反射し、一方第二層では吸収できず第一層で吸収できる長波長光を透過させることができるように膜厚を制御した導電性

の選択反射膜が誘電体の場合は、その所望部分に開口部を設けるようにしたものである。  
〔作用〕

この発明における多層構造太陽電池では、直列接続されている第一層と第二層の間に挿入された導電性の選択反射膜が、第二層で吸収できる短波長光を選択的に反射し、一方第二層では吸収できず第一層で吸収できる長波長光を透過させることができることにより、第一層で発生する電流の減少を極力抑えつつ第二層で発生する電流を増加させることができ、従って各々の層で発生する電流を平衡状態に近づけることができる。

また、上記選択反射膜が誘電体の場合は、その所望部分に開口部を設けたので、該開口部を通して第一層と第二層を容易に直列接続することができる。

〔実施例〕

以下、この発明の一実施例を図について説明する。

第1図はこの発明の一実施例による多層構造太

陽電池を示す断面図である。図において、1は厚さ約10～400 $\mu\text{m}$ のp型のポリシリコン、2は厚さ約100～2000 $\text{\AA}$ のn型のアモルファスもしくは微結晶シリコン、3は厚さ約100～500 $\text{\AA}$ のp型のアモルファスもしくは微結晶シリコン、4は厚さ約3000～6000 $\text{\AA}$ のi型アモルファスシリコン、5は厚さ約100～300 $\text{\AA}$ のn型のアモルファスもしくは微結晶シリコン、6は厚さ約500～800 $\text{\AA}$ の透明導電膜、7は裏面A $\ell$ 電極、8はITOよりなる膜厚約2500 $\text{\AA}$ の選択反射膜である。11は第一の太陽電池、12は第二の太陽電池であり、選択反射膜8を介してこれら2つの太陽電池は直列に接続されている。ここで、p型ポリシリコン1は通常用いられるキャストリング法、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法、LPE (Liquid Phase Epitaxy) 法等の手法により形成し、アモルファス・微結晶膜2～5は、PCVD (Plasma Chemical Vapor Deposition) 法、光CVD法、ECR (Electron Cyclotron Resonance) - CVD法等

によって形成する。また、透明導電膜6はスパッタ法、電子ビーム蒸着法等により形成する。

以下、動作について説明する。

光は透明導電膜6を通り、第二の太陽電池12へ入射する。この時、約500nm以下の短波長光はほとんど全て吸収され、それより長波長の光の一部は第二の太陽電池12を透過していくが、その下の選択反射膜8において、第二の太陽電池が吸収できる波長の光のみが選択的に反射される。

ここで、選択反射膜の反射率の計算方法を説明する。計算式は、例えばプロシーディングス オブ ザ セカンド フォトボルタイックサイエンス アンド エンジニアリング コンファレンス イン ジャパン、1980; ジャパニーズ ジャーナル オブ アプライド フিজックス、ボリューム 20 (1981)、サブリメント 20-2, pp 99-103 (Proceedings of the 2nd Photovoltaic Science and Engineering Conference in Japan, 1980; Japanese Journal of Applied Physics, Volume 20 (1981)Supplement

nt 20-2, pp 99-103) に記載されているような通常の計算式を用いる。その式を以下に示す。

$$R(\lambda) = \frac{A}{B}$$

$$\begin{aligned} A = & r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_1^2 r_2^2 r_3^2 \\ & + 2r_1 r_2 (1 + r_3^2) \cos 2\theta_1 \\ & + 2r_2 r_3 (1 + r_1^2) \cos 2\theta_2 \\ & + 2r_1 r_3 \cos 2(\theta_1 + \theta_2) \\ & + 2r_1 r_2 r_3 \cos 2(\theta_1 - \theta_2) \\ B = & 1 + r_1^2 r_2^2 + r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2 \\ & + 2r_1 r_2 (1 + r_3^2) \cos 2\theta_1 \\ & + 2r_2 r_3 (1 + r_1^2) \cos 2\theta_2 \\ & + 2r_1 r_3 \cos 2(\theta_1 + \theta_2) \\ & + 2r_1 r_2 r_3 \cos 2(\theta_1 - \theta_2) \end{aligned}$$

上式において、 $R(\lambda)$  = 波長 $\lambda$ の時の反射率

$$\begin{aligned} r_1 &= (n_0 - n_1)/(n_0 + n_1) \\ r_2 &= (n_1 - n_2)/(n_1 + n_2) \\ r_3 &= (n_2 - n_3)/(n_2 + n_3) \\ \theta_1 &= 2\pi n_1 d_1 / \lambda \\ \theta_2 &= 2\pi n_2 d_2 / \lambda \end{aligned}$$

であり、 $n_0, n_1, n_2, n_3$  はそれぞれ空気、シリコン、選択反射膜、シリコンのそれぞれの屈折率、 $d_1, d_2$  は光入射側のシリコン、選択反射膜のそれぞれの膜厚である。本実施例では計算の単純化のため、上下から屈折率3.8のシリコンにより挟まれた屈折率1.77のITOを選択反射膜として計算した。

第2図に上記選択反射膜の反射率の計算データを示す。図からわかるように、ITOの膜厚を2500 $\text{\AA}$ 程度にすることにより最も効果のある約600nmに反射のピークを持てることができ。

一方、この選択反射膜を用いた場合、第一の太陽電池11で吸収できる約700nm以上の波長の光に対しては反射率を低く抑えることが同時に可能となり、第二の太陽電池12では理論的に吸収できない長波長光を有効に第一の太陽電池内に導入できる。これらの効果により、第二の太陽電池12の電流を増加させるとともに、第一の太陽電池11の電流の減少を抑えられることにより、

二つの太陽電池の電流を平衡状態に近づけることができ、従って多層構造太陽電池の効率を向上させることが可能である。この場合の変換効率は、電流が $17 \sim 19 \text{ mA/cm}^2$ となることにより、従来の $14 \sim 16\%$ から $16 \sim 18\%$ へと大幅に上昇する。

なお、この実施例では選択反射膜8としてITOを用い、膜厚が約 $2500 \text{ Å}$ のものについて説明したが、この膜厚は $2500 \text{ Å} \pm 150 \text{ Å}$ の範囲であれば上記実施例とほぼ同様の効果を得ることができる。

また、選択反射膜8の材料としては、導電性があり長波長光に対して透明度の高いものであれば、膜厚の最適化をそれぞれについて図ることにより使用可能である。

例えば、酸化亜鉛( $n=1.41$ )であれば $200 \text{ Å} \pm 150 \text{ Å}$ 、酸化チタン( $n=2.30$ )であれば $1950 \text{ Å} \pm 150 \text{ Å}$ 、スズ( $n=2.0$ )であれば $2250 \text{ Å} \pm 100 \text{ Å}$ とすることにより、ITOを用いた場合と同様の効果を奏する。

実施例では計算の簡略化のため、上下から屈折率3.8のシリコンによりはさまれた屈折率1.46の $\text{SiO}_2$ を選択反射膜とした時の結果を示している。図からわかるように、 $\text{SiO}_2$ 膜厚を $3100 \text{ Å}$ 程度にすることにより、約 $600 \text{ nm}$ に反射のピークを持つてることができる。

一方、この選択反射膜を用いた場合、第一の太陽電池11で吸収できる約 $700 \text{ nm}$ 以上の波長の光に対しては反射率を低く抑えることが同時に達成できることになり、第二の太陽電池12では理論的に吸収できない長波長光を有効に第一の太陽電池内に導入できる。これらの効果により、第二の太陽電池12の電流を増加させるとともに、第一の太陽電池11の電流の減少を抑えられることにより、二つの太陽電池の電流を平衡状態に近づけることができ、従って多層構造太陽電池の効率を向上させることが可能である。この場合は、選択反射膜にITOを用いた時よりも反射透過特性が優れているため、電流は $18 \sim 20 \text{ mA/cm}^2$ とさらに大きくなり、従って変換効率も $17 \sim 1$

第3図は本発明の第2の実施例による多層構造太陽電池を示す断面図である。図において、第1図と同一符号は同一または相当部分を示し、9は選択反射膜8に開けられた開口部である。本実施例では、選択反射膜8として二酸化シリコンを用い、その膜厚は $3100 \text{ Å}$ である。このように、2つの太陽電池11、12の間に $\text{SiO}_2$ 等の誘電体からなる選択反射膜8を挿入すると、該2つの太陽電池の直列接続が不可能になるため、この選択反射膜8には開口部9を設け、ここを通して電気的接続を達成させる。

次に動作について説明する。

光は透明導電膜6を通り、第二の太陽電池12へ入射する。この時、約 $500 \text{ nm}$ 以下の短波長光はほとんど全て吸収され、それより長波長の光の一部は第二の太陽電池12を透過していくが、その下の選択反射膜8において、第二の太陽電池が吸収できる波長の光のみが選択的に反射される。

この選択反射膜の反射率の計算データを第4図に示す。計算式は第1の実施例と同じである。本

$9\%$ とさらに大きく上昇する。

この第2の実施例では、p型ポリシリコン1、アモルファス・微結晶シリコン膜2～5、透明導電膜6の形成方法は第1の実施例と同様である。また、選択反射膜8は、シリコンラダー溶剤のような塗布性のある物質を用いてスクリーン印刷により形成すると、開口部9も同時に形成することができ、工程の短縮化が図れる。もちろん他の成膜方法によって全面に誘電体膜を形成したのち、通常の写真製版技術を用いて開口部を形成することも可能である。また、誘電体膜形成時にマスク堆積技術を用いることにより開口部を形成することも可能である。

なお、この第2の実施例では、選択反射膜8として $\text{SiO}_2$ を用い、その膜厚を $3100 \text{ Å}$ としたが、この膜厚は $3100 \text{ Å} \pm 150 \text{ Å}$ の範囲であれば同様の効果を得ることができる。

また、選択反射膜8の材料としては、長波長光に対して透明度の高いものであれば、膜厚の最適化をそれぞれの膜について図ることにより使用可

能である。例えば窒化シリコン( $n = 2.0$ )であれば $2300 \text{ \AA} \pm 150 \text{ \AA}$ 、酸化タンタル( $n = 2.20$ )であれば $2050 \text{ \AA} \pm 150 \text{ \AA}$ 、炭化シリコン( $n = 2.59$ )であれば $1750 \text{ \AA} \pm 150 \text{ \AA}$ とすることにより、 $\text{SiO}_2$ を用いた場合と同様の効果を奏する。

なお、上記第1及び第2の実施例では第一の太陽電池にp型のポリシリコンを用いたが、p型の単結晶シリコンを用いても同様の効果を奏する。

さらに、上記第1及び第2の実施例では光入射側よりn i p n pという構造としたが、全く逆のp i n p nという構造をとっても同様の効果が得られるのは言うまでもない。

さらに、上記第1及び第2の実施例では裏面側の電極としてAlを用いたが、Al以外の金属、例えばAg、Au、Ni、Cu、Ti、Cr、Pd等導電性があればこれらの単体、合金を問わず何を用いても同様の効果が得られるのは明らかである。

(発明の効果)

0 ÅのITOを選択反射膜として用いた時の反射特性を示す図、第3図はこの発明の第2の実施例による多層構造太陽電池を示す断面図、第4図は厚さ約 $3100 \text{ \AA}$ の $\text{SiO}_2$ を選択反射膜として用いた時の反射特性を示す図、第5図は従来の多層構造太陽電池の断面図、第6図は厚さ約 $1000 \text{ \AA} \sim 1500 \text{ \AA}$ のITOを選択反射膜として用いた従来例の反射特性を示す図、第7図は厚さ約 $600 \text{ \AA}$ のITOを選択反射膜として用いた従来例の反射特性を示す図である。

1…p型ポリシリコン、2…n型アモルファスもしくは微結晶シリコン、3…p型アモルファスもしくは微結晶シリコン、4…i型アモルファスシリコン、5…n型アモルファスもしくは微結晶シリコン、6…透明導電膜、7…裏面Al電極、8…選択反射膜、10…開口部、11…第一の太陽電池、12…第二の太陽電池。

なお図中同一符号は同一又は相当部分を示す。

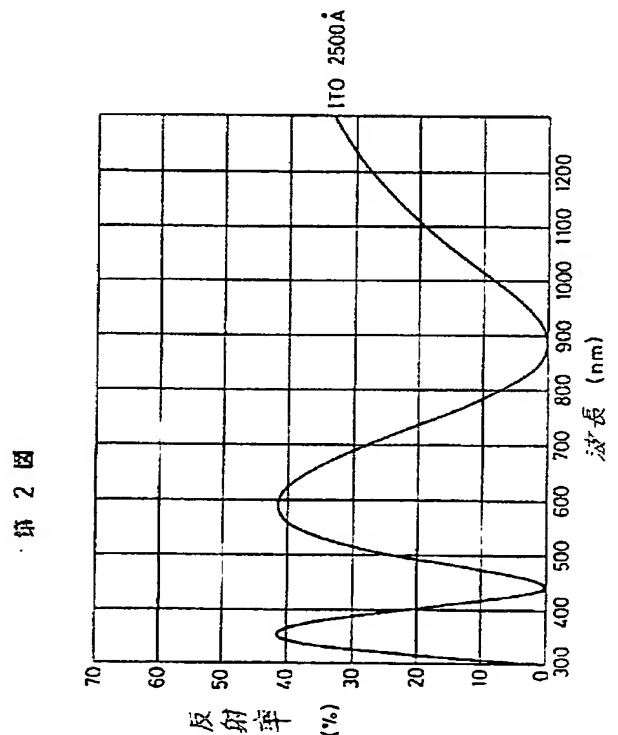
代理人 早 瀬 憲 一

以上のように、この発明に係る多層構造太陽電池では、直列接続されている第一層と第二層の間に、第二層で吸収できる短波長光を選択的に反射し、一方第二層では吸収できず第一層で吸収できる長波長光は透過させることができるように膜厚を制御した導電性の選択反射膜を挿入するようにしたので、第一層で発生する電流の減少を極力抑えつつ、第二層で発生する電流を増加させることができ、したがって各々の層で発生する電流を平衡状態に近づけることができ、多層構造太陽電池の変換効率を、選択反射膜を挿入しない時の14~16%から16~19%程度へと上昇させることができる。

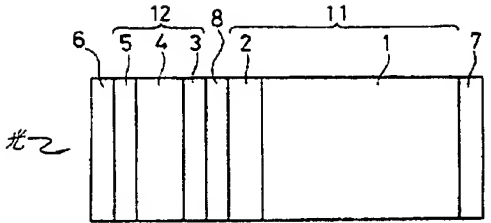
また、上記選択反射膜が誘電体の場合は、その所要部分に開口部を設けたので、上記効果に加えて、第一層と第二層の電気的接続を容易に行うことができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明の第1の実施例による多層構造太陽電池を示す断面図、第2図は厚さ約 $2500 \text{ \AA}$

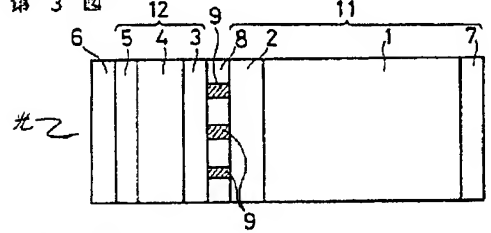


第 1 図

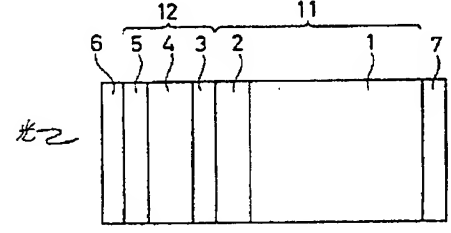


- 1: P型ホソシリコン
- 2: n型のアモルファス  
もしくは微結晶シリコン
- 3: P型アモルファス  
もしくは微結晶シリコン
- 4: i型アモルファス  
シリコン
- 5: n型のアモルファス  
もしくは微結晶シリコン
- 6: 透明導電膜
- 7: 裏面Al電極
- 8: 選択反射膜
- 9: 開口部

第 3 図

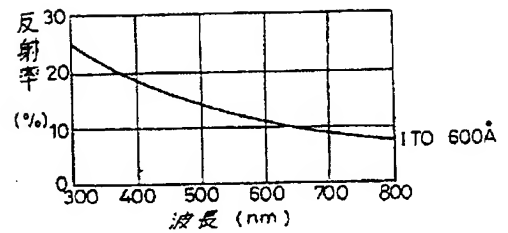


第 5 図

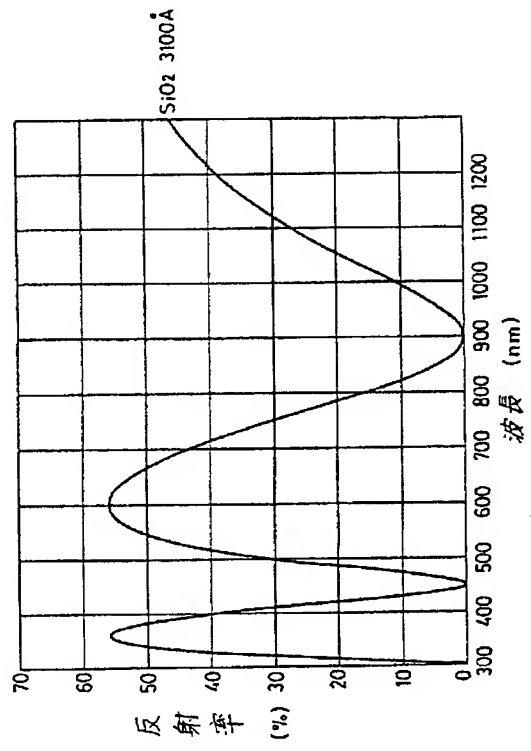


- 11: 第1の太陽電池
- 12: 第2の太陽電池

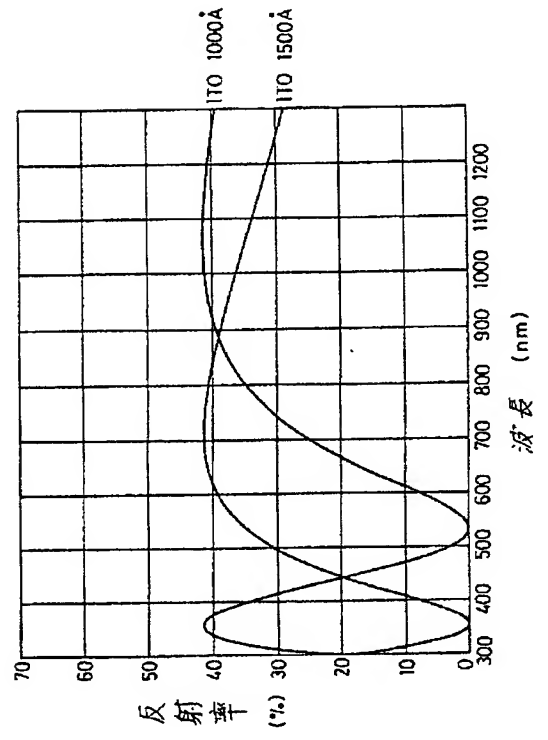
第 7 図



第 4 図



第 6 図





【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成6年(1994)2月10日

【公開番号】特開平2-237172

【公開日】平成2年(1990)9月19日

【年通号数】公開特許公報2-2372

【出願番号】特願平1-58761

【国際特許分類第5版】

H01L 31/04

【F I】

H01L 31/04

W 7376-4M

手 続 補 正 書

平成5年5月17日

特 許 庁 長 官 殿

1. 事件の表示

特願平1-58761号

2. 発明の名称

多層構造太陽電池

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

名 称 (601)三菱電機株式会社

4. 代理人 郵便番号 564

住 所 大阪府吹田市江坂町1丁目23番43号  
ファサード江坂ビル7階

氏 名 (8181)井理士 早 瀬 一

電話 06-380-5822

5. 補正の対象

明細書の特許請求の範囲の欄、発明の詳細な説明の欄、及び図面の簡単な説明の欄

6. 補正の内容

(1) 明細書の特許請求の範囲を別紙のとおり訂正する。

(2) 明細書第1頁第18行の「スズ」を「酸化スズ」に訂正する。

(3) 同第16頁第15行～第16行の「上記効果に加えて」を「上記効果を損なうことなく」に訂正する。

(4) 同第17頁第16行の「10…開口部」を「9…開口部」に訂正する。

以 上

特許請求の範囲

(1) 直列接続された第一層と第二層からなる多層構造太陽電池において、

上記第一層と第二層との間に、第二層の分光感度のピーク波長 $\pm 100\text{nm}$ に反射率の極大値を1つ有し、かつ第二層を透過した光に対する第一層の分光感度のピーク波長 $\pm 100\text{nm}$ に反射率の極小値を1つ有するように膜厚を制御した導電性の選択反射膜を備えたことを特徴とする多層構造太陽電池。

(2) 上記選択反射膜は誘電体であり、その所望部分は上記第一層と第二層を直列接続するために除去されていることを特徴とする請求項1記載の多層構造太陽電池。